九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

Analysis and improvement of CO2 enrichment performance in greenhouse production based on the simulations of microclimate, photosynthetic distribution and energy utilization efficiency

张, 栋

https://hdl.handle.net/2324/5068269

出版情報：Kyushu University, 2022, 博士（農学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

氏　　名	张 栋 (Zhang Yue)
論 文 名	Analysis and improvement of CO_2 enrichment performance in greenhouse production based on the simulations of microclimate, photosynthetic distribution and energy utilization efficiency （温室における微気象・光合成の分布とエネルギー利用効率のシミュレーションに基づく CO_2 施用効果の解析と改善）
論文調査委員	主　査　九州大学　准教授　安武 大輔 副　査　九州大学　教　授　廣田 知良 副　査　九州大学　教　授　岡安 崇史 副　査　九州大学　准教授　Ton Viet Ta

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

温室での作物生産において，二酸化炭素（CO_2）の濃度を人為的に高める CO_2 施用が，作物の光合成促進を通した増収を図る有望技術として認識が進んでいる。一方で，CO_2 施用の実施には化石燃料の消費を要するため，作物の増収効果に加えてエネルギー利用効率の向上の面からも CO_2 施用効果の改善が求められている。すなわち，施用した CO_2 ガスの拡散プロセスの最適化が必要であり，そのための基礎情報として温室内の CO_2 濃度・光合成の時空間分布の把握が有効となる。温室内の微気象環境の分布を解析する既往の研究では，数値流体力学（Computational Fluid Dynamics; CFD）シミュレーションが利用されるが，CO_2 施用に伴った CO_2 濃度や光合成の分布の非定常解析に応用した例はない。本論文は，CFD と Farquhar の光合成モデルを組み合わせた新たなシミュレーション手法の提案と援用により，イチゴが栽培される CO_2 施用温室を対象に CO_2 濃度をはじめとする微気象環境と光合成の時空間分布を明らかにするとともに，その結果からエネルギー利用効率ならびに CO_2 施用効果の評価・改善を目指したものである。

まず，現状の CO_2 施用の効果と問題点を把握する必要があることから，従来の CO_2 施用（CO_2 発生機から CO_2 ガスを温室内空間に直接放出する全体 CO_2 施用）が導入され，異なる長さと幅をもつ三つのイチゴ営農温室において観測とシミュレーションを行っている。CFD ソフトウエア（FLUENT, Ver. 2019 R1, ANSYS Inc., USA）を用いて，温室空間における微気象環境の非定常な CFD 解析モデルを構築し，高精度な CO_2 濃度の推定を実現している。さらに，このモデルで得られた微気象環境情報と光合成モデルを組み合わせて光合成速度の分布を解析する手法を新たに提案している。この手法を用いた結果から，施用した CO_2 ガスが対流によって作物が存在しない温室上部空間に上昇・滞留する鉛直分布が形成されるという問題点を明らかにしている。また，温室の長さと幅が増すほど，温室全域の CO_2 濃度が十分に上昇せずに，CO_2 濃度と光合成速度の水平分布の不均一性が増加することを示し，このメカニズムを CO_2 ガスの発生速度と水平方向の輸送速度の相対的なバランスに基づいて説明している。これらの結果は，従来の全体 CO_2 施用技術による CO_2 濃度の鉛直分布・水平分布はともに作物生産の観点から非合理的であり，改善の必要性があることを示している。

次に，上記の CO_2 濃度の鉛直分布・水平分布を改善し得る技術として，作物域の局所 CO_2 施用技術をイチゴ試験温室に導入して，観測および前述の CFD 解析モデルに局所 CO_2 施用（株元からの CO_2 発生項）を組み込んだシミュレーションを行っている。局所 CO_2 施用技術は，微気象環境のうち CO_2 濃度への影響を通して作物全域の光合成速度を効果的に高めることを明らかにしている。す

なわち，従来の全体 CO_2 施用技術と比較して，局所 CO_2 施用技術による CO_2 濃度の鉛直分布・水平分布は作物生産において合理的であり，CO_2 施用効果としてのエネルギー利用効率を飛躍的に向上（約 5 倍）させることを示している。

さらに，異なる温室面積と換気条件（換気窓の開度，屋外風速）に係るシナリオ分析を行うことで，局所 CO_2 施用技術の優位性として，①全体 CO_2 施用技術と比べて約 3〜4 倍の広い温室に適用できること，②換気条件下でも作物域の CO_2 濃度を効果的に高めることができること（全体 CO_2 施用技術では不可能），を示している。

以上，本論文は，温室内の微気象環境と光合成の時空間分布を観測とシミュレーションによって解明することで，環境調節としての CO_2 施用の効果とその改善法を科学的に提示するものであり，農業気象学の発展に寄与する価値ある業績と認める。

よって，本研究者は博士（農学）の学位を得る資格を有するものと認める。